

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
**(ТУСУР)**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению лабораторных работ**  
**по дисциплине**  
**«Схемотехника телекоммуникационных устройств»**

**Для студентов направления подготовки (специальность):**  
**11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**  
**профиль: Защищенные системы и сети связи**

**Томск 2018**

Составитель Л.А. Гоголина

Методические указания для лабораторных работ по дисциплине «Схемотехника телекоммуникационных устройств» – Томск: Изд-во ТУСУР. 2018 – 38 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по курсу «Схемотехника телекоммуникационных устройств» с целью закрепления полученных теоретических знаний, выработки умения проводить расчеты и применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования и исследования радиотехнических устройств, а также получения практических навыков чтения электронных схем и изучения принципов работы элементов современной радиоэлектронной аппаратуры.

Методические указания содержат комплекс работ по курсу «Схемотехника телекоммуникационных устройств» для выполнения в среде Multisim. Практикум является обязательным компонентом для усвоения теоретической информации, полученной на лекциях.

Библиогр.: 4 назв.

Рецензент профессор кафедры РСС Задорин А.С.

## Содержание

	Лист
Введение.....	4
Порядок проведения лабораторных работ.....	5
Лабораторная работа № 1. Знакомство с программным комплексом Multisim. Исследование простейших цепей .....	6
Контрольные вопросы.....	14
Лабораторная работа № 2. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе .....	15
Контрольные вопросы.....	19
Лабораторная работа № 3. Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе.....	20
Контрольные вопросы.....	26
Лабораторная работа № 4. Исследование параметров операционных усилителей.....	27
Контрольные вопросы.....	32
Лабораторная работа № 5. Фильтры.....	33
Контрольные вопросы.....	39
Приложение. Порядок оформления и содержание отчета.....	41
Список использованных источников.....	43

## Введение

Использование компьютерных технологий позволяет внедрять возможности, недоступные для некоторых лабораторных классов: неограниченное количество деталей, составных приборов – все это стирает традиционные препятствия при проектировании электрических схем. В отличие от ограничений, связанных с проектированием и реализацией электрических схем, появляющихся в лаборатории, работа со схемами в среде Multisim значительно проще. Эта простота позволяет расширять границы научных исследований. Работы построены таким образом, чтобы максимально совместить теоретический и практический материал.

Среда Multisim позволяет проводить любые по сложности эксперименты. Позволяет легко заменять компоненты цепи, изменять их значения, прогнозировать и отображать полученные результаты. Спроектированные схемы могут быть быстро и легко протестированы и изменены для определения их производительности, а в дальнейшем легко реализованы физически. Таким образом, выявление неисправностей на физическом уровне – минимальны.

За долгое время использования среды Multisim её функционал был расширен, новые возможности добавлены. Некоторые из них: пробник (Instrument probe), позволяет получить текущее значение величины, без помещения измерительного прибора в схему, множественный выбор (multiple choice) и логический выбор (true/false choice) вопроса/ответа – поддерживает отправку через почту, а также мастер проектирования фильтров, таймеров, биполярный плоскостной транзистор (BJT), операционный усилитель (Opamp circuitry) с изменяемыми параметрами.

Функциональные возможности моделирования, ранее представленные инструментами (Tektronix) и (Agilent), в новой версии пакета Multisim расширились.

Выполнение работ предполагает использование специальных виртуальных приборов, таких как (Bode Plotter) графопостроителя диаграммы Боде, (Distortion Analyzer) анализатор искажений сигналов, (Spectrum Analyzer) анализатора спектра и (Network Analyzer) анализатора соединений. Все виртуальные приборы аналогичны – реальным, используемым в радиотехнике.

К каждой работе, по необходимости, приведены:

- рабочие формулы;
- ожидаемые результаты выполнения;
- дополнительное задание;
- контрольные вопросы.

## **Порядок проведения лабораторных занятий**

Каждое занятие должно включать в себя следующие этапы:

1. Подготовка к лабораторной работе (проводится студентом до начала лабораторного занятия самостоятельно).

1.1 Изучение теоретических сведений и примеров решения задач по теме занятия.

1.2 Подготовка необходимых материалов (заготовки отчета, таблиц, графиков и т.д.)

2. Выполнение лабораторной работы.

2.1 После подготовки студенты приступают к выполнению работы в соответствии с данными методическими указаниями.

2.2 При выполнении работы необходимо обязательно соблюдать правила техники безопасности, с которыми должен ознакомиться каждый студент.

2.3 По окончании выполнения работы студент должен сообщить об этом преподавателю, после чего приступить к обработке результатов и составлению отчета.

3. Оформление отчета и защита.

3.1 Отчет оформляется индивидуально каждым студентом (рукописным или печатным способом на выбор).

Работа считается выполненной при наличии в отчете всех результатов измерений и необходимых вычислений, а также всех необходимых схем и графиков зависимостей.

3.2 Защита лабораторной работы.

На защите студент обязан представить преподавателю отчет о проделанной работе.

По отчету проводится обсуждение проделанной работы, и задаются контрольные вопросы (приведены в конце каждой работы).

Если в результате опроса выяснится неподготовленность студента по теме, он направляется на доработку материала.

По результатам защиты преподаватель ставит отметку о зачете работы и студент может приступить к выполнению следующей работы.

До окончания занятий студент должен находиться в лаборатории.

## Лабораторная работа № 1. Знакомство с программным комплексом Multisim. Исследование простейших цепей

**Резистивный элемент.** Обозначение – R, Ом. Элемент, в котором электрическая энергия преобразуется в тепловую или в другой вид полезной энергии (лампа, электроплитка).

Резисторы изготавливают из проводящего материала (графита, тонкой металлической или графитовой пленки или провода, обладающего невысокой проводимостью). К каждому концу резистора прикреплен провод.

Резисторы характеризуются мощностью, которую они рассеивают в пространство (наиболее распространены резисторы с мощностью рассеяния 0,125 или 0,25 Вт), и такими параметрами, как допуск (точность 5%, 1%), температурный коэффициент, уровень шума, коэффициент напряжения (показывающий, в какой степени сопротивление зависит от приложенного напряжения), стабильность во времени, индуктивность и пр.

**Ёмкостной элемент.** Обозначение – C, Ф (Фарад). Элемент, в котором электрическая энергия преобразуется в энергию электрического поля.

Произведение RC называют постоянной времени цепи. Если R измерять в Омах, а C — в Фарадах, то произведение RC будет измеряться в секундах. Для конденсатора емкостью 1 мкФ, подключенного к резистору сопротивлением 1 кОм, постоянная времени составляет 1 мс; если конденсатор был предварительно заряжен и напряжение на нем составляет 1 В, то при подключении резистора в цепи появится ток, равный 1 мА.

**Индуктивный элемент.** Обозначение – L, Гн (Генри). Элемент, в котором электрическая энергия преобразуется в энергию магнитного поля (идеализированный элемент). Преобразование в другие виды энергии отсутствует.

Условно индуктивность изображают в виде нескольких витков провода — такую конструкцию имеет простейшая индуктивность. Другие, более совершенные конструкции включают сердечник, на который наматывается провод. Материалом для сердечника чаще всего служит железо или феррит, представляющий собой хрупкий непроводящий магнитный материал.

### Цель работы

Ознакомиться с элементами интерфейса, принципами работы и методиками исследования электрических схем в программном комплексе Multisim. Получить начальные навыки работы с комплексом, освоить методы исследования электрических цепей.

### Элементная база

- Источник питания постоянного и переменного тока (POWER\_SOURCE/ DC\_POWER или AC\_POWER)
- Резисторы (BASIC\_RESISTOR)
- Катушки индуктивности (BASIC\_INDUCTOR)
- Конденсатор (BASIC\_CAPACITOR)

## Оборудование

- Осциллограф (Oscilloscope)
- Мультиметр (Multimeter)
- Анализатор частотных характеристик (Bode Plotter)

## Рабочие формулы

Сопротивление

$$R = U / I \text{ (Закон Ома)}$$

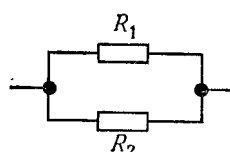
Формула (1-1)

Сопротивление двух последовательно соединенных резисторов


$$R = R_1 + R_2$$

Формула (1-2)

Сопротивление двух параллельно соединенных резисторов


$$R = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \text{ или}$$
$$R = 1 / (1/R_1 + 1/R_2)$$

Формула (1-3)

Ток

$$I = C \cdot (dU/dt)$$

Формула (1-4)

Энергия конденсатора

$$W_c = \frac{cu^2}{2}$$

Формула (1-5)

Заряд конденсатора

$$Q = C \cdot U$$

Формула (1-6)

Емкость последовательного соединения конденсаторов

$$C = \frac{1}{1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3} \cdot$$

Формула (1-7)

Емкость нескольких параллельно соединенных конденсаторов

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

Формула (1-8)

Энергия индуктивности

$$W_l = \frac{Li^2}{2}$$

Формула (1-9)

Напряжение

$$U = L \cdot (dI / dt)$$

Формула (1-10)

Потокоцепление

$$\Psi = W \cdot \Phi = L \cdot I,$$

Формула (1-11)

Где  $\Phi$  – магнитный поток

## Выполнение работы

### 1.1 Исследование последовательных цепей

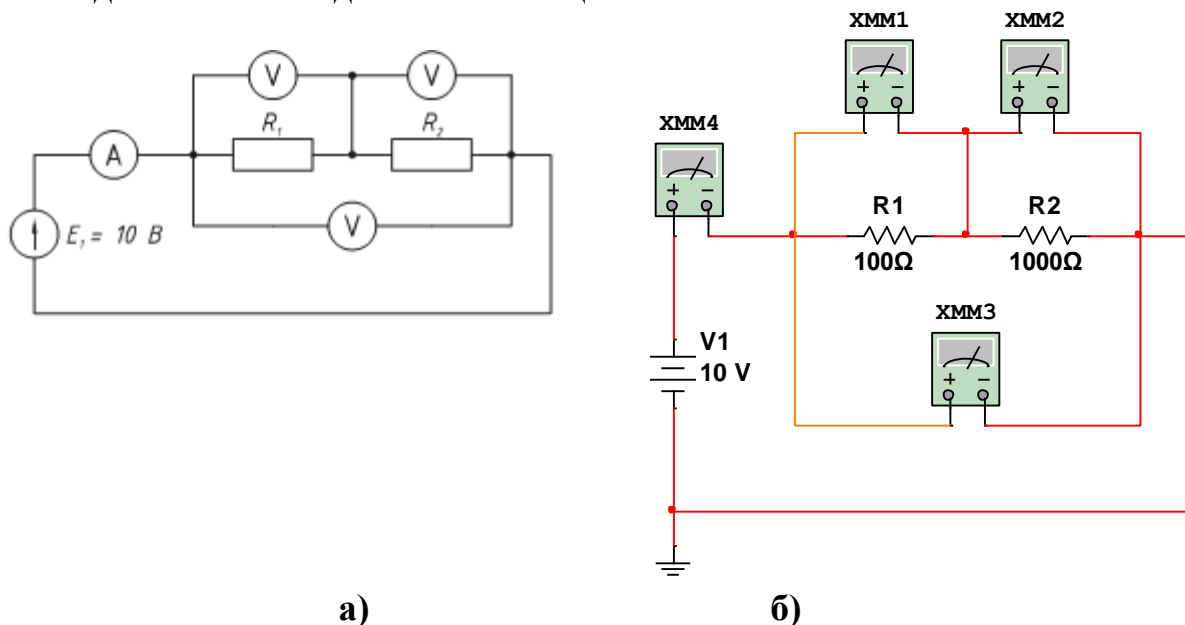



Рис. 1-1

1. Запустите программный комплекс Multisim.
2. Ознакомьтесь с элементами управления и методами построения электрических схем. Изучите литературу [1].
3. Соберите схему, изображенную на рисунке 1-1 (б).
4. Установите номиналы элементов схемы согласно выбранному варианту (таблица 1-1).

Таблица 1-1

№ варианта	$E_1, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$
1	10	100	120
2	7	100	210
3	5	100	1300
4	2	100	100
5	6	100	5000
6	8	100	150

5. Запустите процесс моделирования (нажав на пиктограмму ) и запишите значения токов и напряжений с приборов в таблицу 1-2.

6. Мультиметр-ХММ4 установите в режиме амперметра, мультиметры ХММ1...ХММ3 – вольтметров (рис. 1-2).

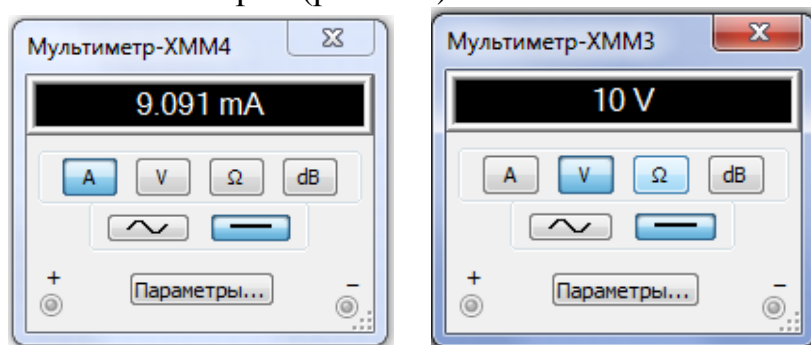


Рис. 1-2



7. Произведите аналитический расчет токов и падений напряжений в цепи (должен быть в отчете!).

8. Увеличивая номинал резистора  $R_1$  со 100 до 200 Ом с шагом в 20 Ом, заполните таблицу 1-2.

**Таблица 1-2**

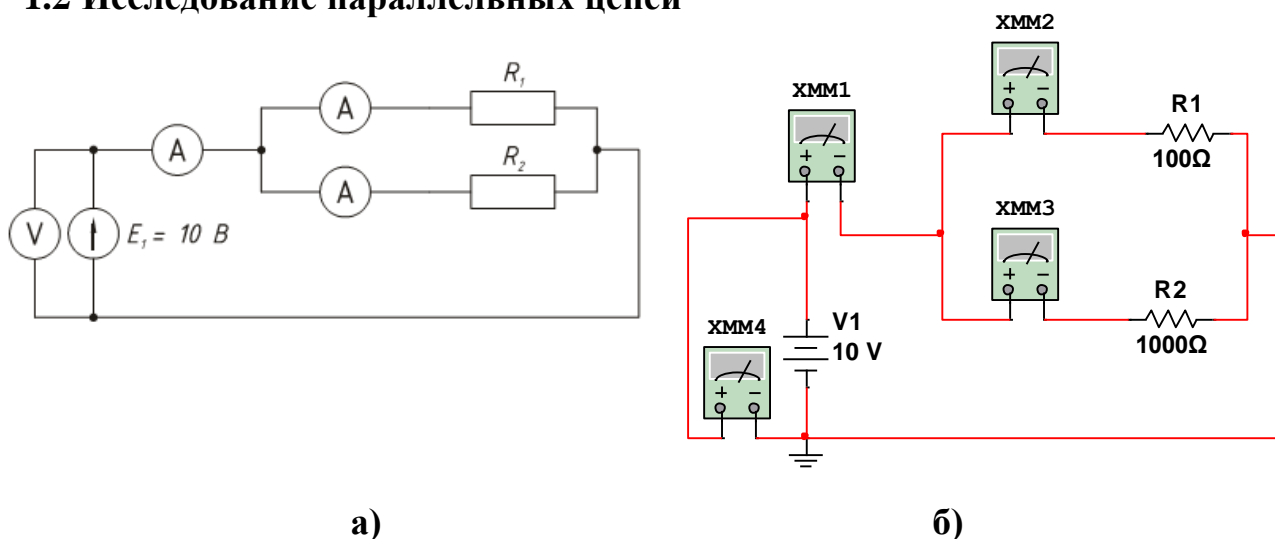
$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$U_{R1}, \text{ В}$	$U_{R2}, \text{ В}$
100					
120					
140					
160					
180					
200					

9. Замените в схеме источник напряжения на источник постоянного тока номиналом 50 мА (Sources/DS Current) и повторите пп. 5 – 7.

10. Остановите процесс моделирования (нажав на пиктограмму ).

11. Занесите результаты измерений и исследуемую схему (рис. 1-1 а, б) в отчет.

## 1.2 Исследование параллельных цепей



**Рис. 1-2**

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 1-2 (б).

2. Запустите процесс моделирования и запишите значения токов и напряжений с указанных приборов в таблицу 1-3.

3. Произведите аналитический расчет токов и падений напряжений в цепи (в отчете!).

4. Увеличивая номинал одного из резисторов со 100 Ом до 200 Ом с шагом в 20 Ом, заполните таблицу 1-3.

5. Замените в схеме источник напряжения на источник постоянного тока номиналом 200 мА и повторите пп. 2 – 4.

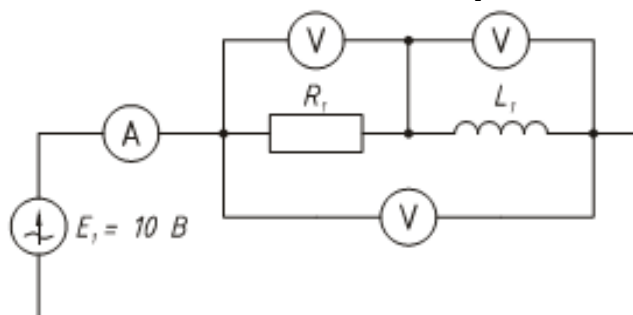
6. Сделайте выводы по проделанной работе.

7. Занесите результаты измерений и исследуемую схему (рис. 1-2 а,б) в отчет.

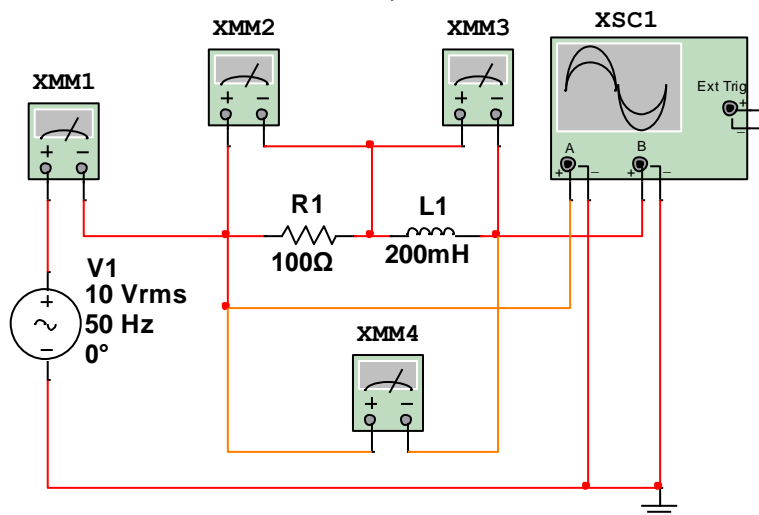
**Таблица 1-3**

$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$I_{R1}, \text{ А}$	$I_{R2}, \text{ А}$
100					
120					
140					
160					
180					
200					

### 1.3 Исследование последовательных цепей переменного тока



а)



б)

**Рис. 1-3**

1. Запустите программный комплекс Multisim.
2. Соберите схему в соответствии с рис. 1-3 (б).
3. Переведите амперметры и вольтметры в режим измерения переменных величин (AC).
4. Устанавливая индуктивность катушки в соответствии с таблицей 1-4, запишите значения токов и напряжений с указательных приборов ( $R1 = 100 \text{ Ом}$ ).

5. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите нужный масштаб по временной оси и по амплитудной оси (рис. 1-4).

6. Измените цветовое решение осциллограмм.

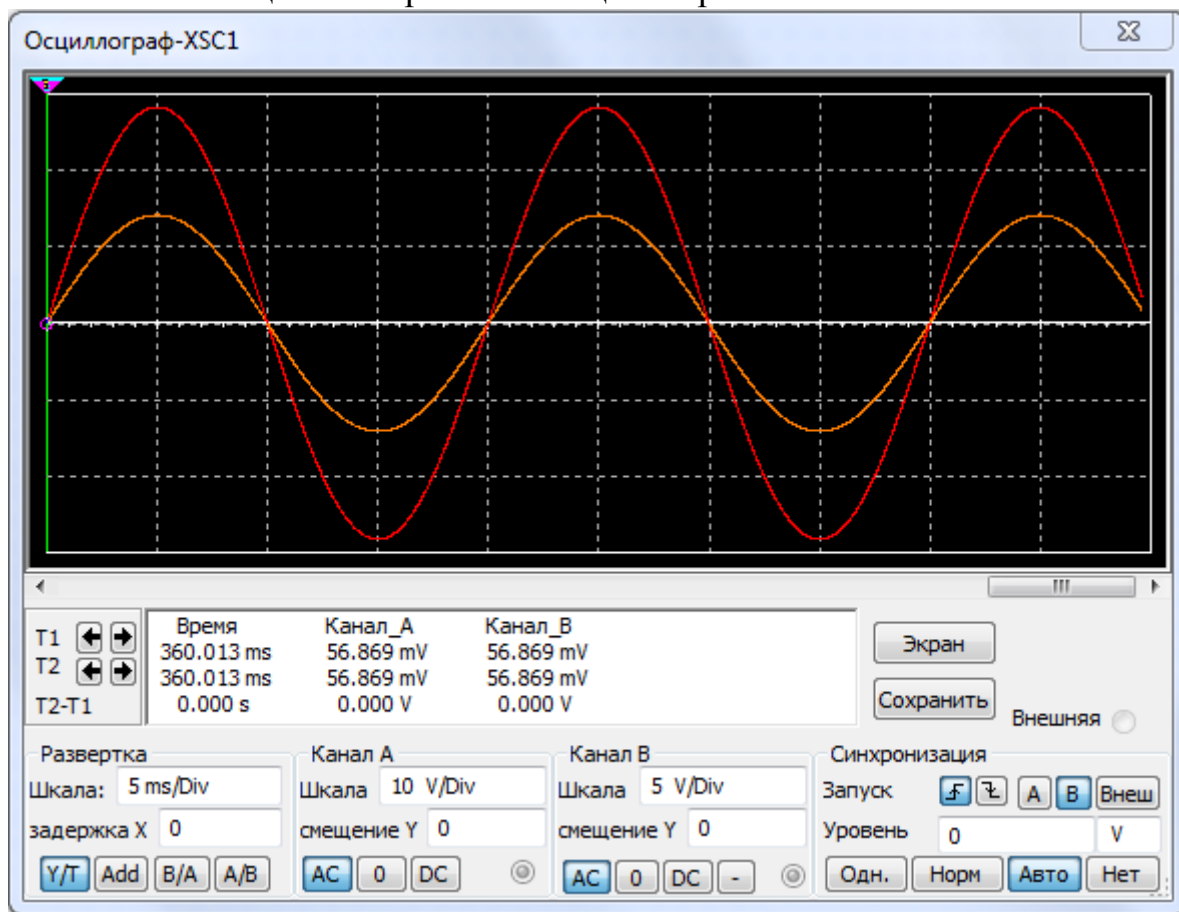


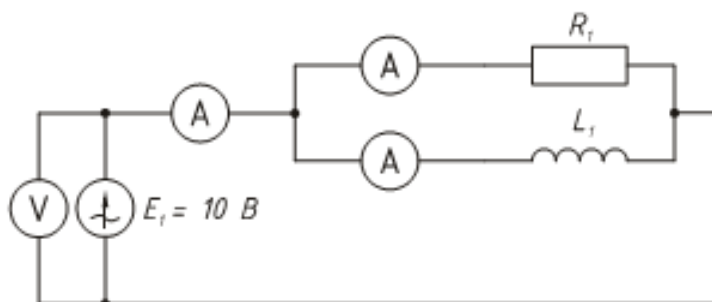
Рис. 1-4

7. Замените катушку индуктивности конденсатором, устанавливая значение емкости конденсатора в соответствии с таблицей 1-4, запишите значения токов и напряжений с указательных приборов.

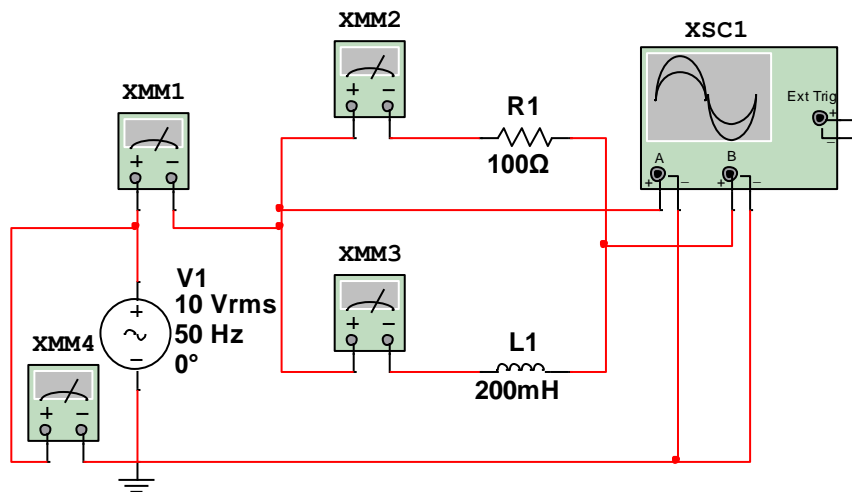
8. Постройте в отчете векторные диаграммы токов и напряжений для всех проделанных опытов, определите по графикам разность фаз между током и напряжением в цепи.

9. Сравните измеренное значение эквивалентного сопротивления с расчетным (должен быть в отчете!).

### 1.3 Исследование параллельных цепей переменного тока



а)



б)  
Рис. 1-5

1. Соберите схему в соответствии с рис. 1-5 (б).
2. Устанавливая индуктивность в соответствии с таблицей 1-4, запишите значения токов и напряжений с указательных приборов ( $R1 = 100 \text{ Ом}$ ).
3. Замените катушку индуктивности конденсатором, устанавливая значение емкости конденсатора в соответствии с таблицей 1-4, запишите значения токов и напряжений с указательных приборов.
4. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите нужный масштаб по временной оси и по амплитудной оси (рис. 1-6).

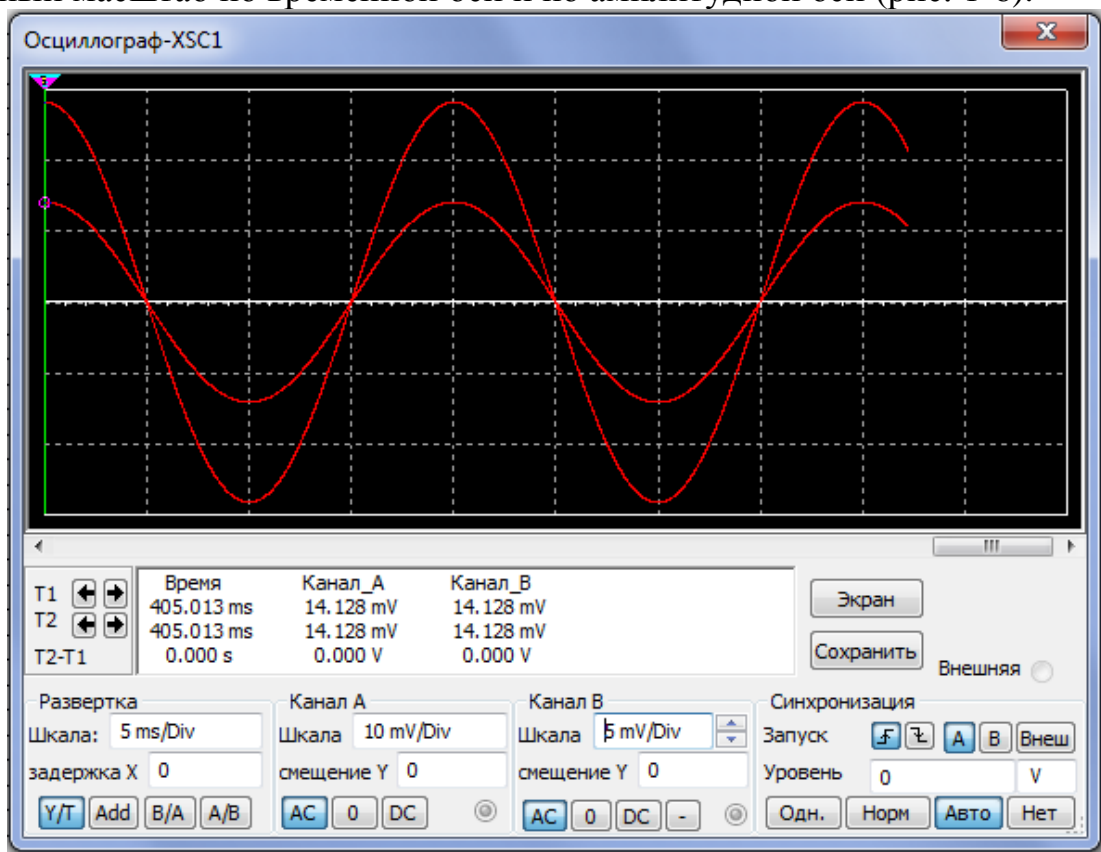


Рис. 1-6

5. Постройте в отчете векторные диаграммы токов и напряжений для всех проделанных опытов, определить по графикам разность фаз между током и напряжением в цепи.

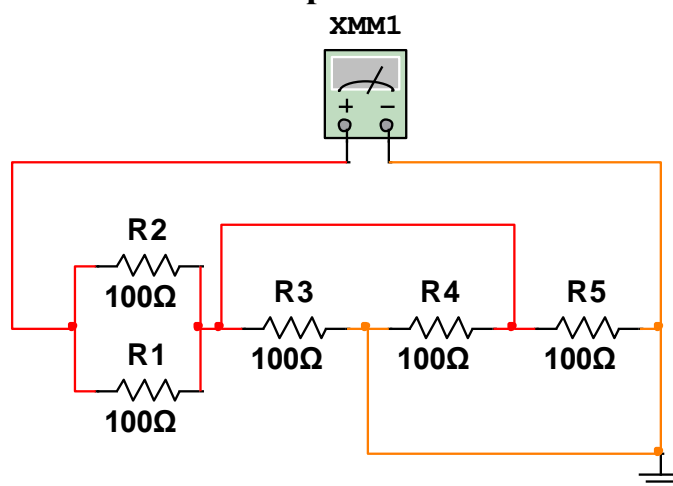
6. Сравните измеренное значение эквивалентного сопротивления с расчетным (должен быть в отчете!).

7. Приведите в отчете исследуемые схемы.

**Таблица 1-4**

L, мГн	C, мкФ	I, А	U, В	I <sub>R</sub> , А	I <sub>L</sub> , А	I <sub>C</sub> , А
314,2	-					-
628,4	-					-
942,6	-					-
-	31,42				-	
-	62,84				-	
-	94,26				-	

### 1.5 Измерение эквивалентного сопротивления



**Рис. 1-7**

1. Соберите схему в соответствии с рисунком 1-7.
2. Разместить на рабочем поле пять резисторов и установите значения сопротивлений для резисторов согласно таблице 1-5.
3. Запустите процесс моделирования.
4. Мультиметр-ХММ1 установите в режиме омметра.
5. Сравните измеренное значение эквивалентного сопротивления с расчетным (должен быть в отчете!).
6. Остановите процесс моделирования.

**Таблица 1-5**

№ варианта	1	2	3	4	5
R <sub>1</sub> , Ом	2	4	8	10	10
R <sub>2</sub> , Ом	4	2	4	8	6
R <sub>3</sub> , Ом	6	4	2	4	8
R <sub>4</sub> , Ом	8	10	4	2	4
R <sub>5</sub> , Ом	10	8	10	4	2

### **Контрольные вопросы**

1. Каким образом можно отредактировать цепи в среде Multisim?
2. В базе данных Multisim представлены цифровое и аналоговое заземления. В чем их отличие?
3. Сформулировать закон Ома для участка цепи.
4. Как определить общее сопротивление цепи при последовательном и параллельном соединении элементов?
5. Дайте определение ветви, узла и контура электрической цепи.
6. В чем принципиальные отличия источника тока и источника напряжения?
7. Принципиальные отличия активных и реактивных сопротивлений.
8. От чего зависит угол сдвига фаз напряжения и тока в цепи?
9. Какой физический смысл имеет модуль полного сопротивления цепи?
10. Какой физический смысл имеет аргумент полного сопротивления цепи?

## Лабораторная работа № 2. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе

Биполярные транзисторы можно классифицировать:

- по материалу: германиевые и кремневые;
- по виду проводимости: типа p-n-p и n-p-n;
- по мощности: малая ( $P_{\text{макс}} < 0,3 \text{ Вт}$ ), средняя ( $P_{\text{макс}} = 1,5 \text{ Вт}$ ) и большая ( $P_{\text{макс}} > 1,5 \text{ Вт}$ );
- по частоте: низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и СВЧ.

На схемах биполярные транзисторы условно обозначают в следующем виде:

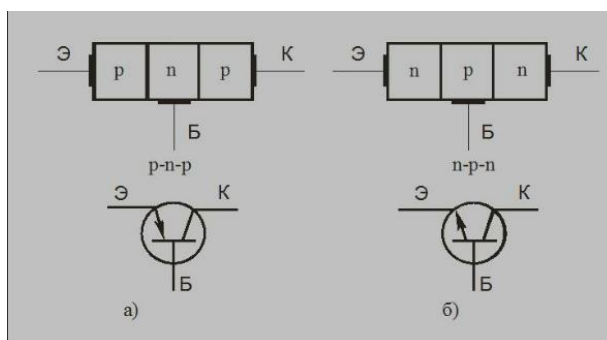


Рис. 2-1

Электрод, подключённый к среднему слою, называют базой, электроды, подключённые ко внешним слоям, называют эмиттером и коллектором.

В зависимости от того, какой из электродов транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают три схемы включения транзисторов: с общей базой (ОБ), с общим эмиттером (ОЭ), с общим коллектором (ОК) (рис. 2-2).

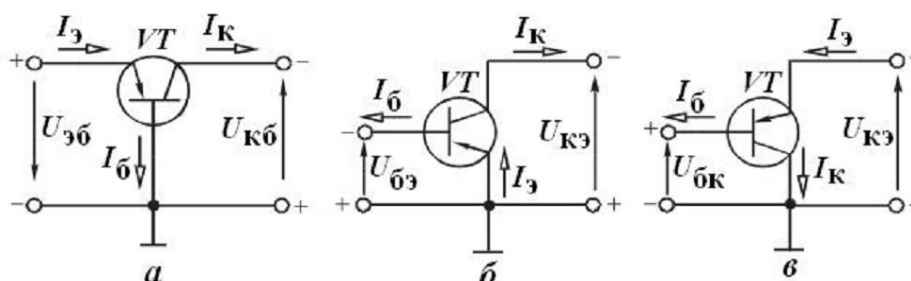


Рис. 2-2. ОБ (а); ОЭ (б); ОК (в)

Любая схема включения транзистора характеризуется следующими показателями:

- Коэффициентом усиления по току  $k_i = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$ .
- Коэффициентом усиления по напряжению  $k_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ .
- Коэффициентом усиления по мощности  $k_p = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ .
- Входным сопротивлением  $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}}$ .

Преимущество усилителя с ОЭ – дает высокое усиление по току и напряжению, а значит и по мощности.

## Цель работы

Цель моделирования состоит в демонстрации характеристик и принципов действия, широко используемых в электронике биполярных транзисторов, а также освоение методов моделирования основных типов схем, использующих полупроводниковые транзисторы.

## Элементная база

– Источник питания постоянного тока (POWER\_SOURCE/ DC\_POWER)

– Резисторы (BASIC\_RESISTORS)

– Транзистор (TRANSISTORS)

– Конденсатор (BASIC\_CAPACITOR)

## Оборудование

– Осциллограф (Oscilloscope)

– Функциональный генератор (Function Generator)

– Мультиметр (Multimeter)

## Рабочие формулы

Ток эмиттера транзистора

$$I_э = I_б + I_к, \quad \text{формула (2-1)}$$

где  $I_б$  – ток базы,  $I_к$  – ток коллектора

Коэффициент передачи тока от базы к коллектору в транзисторе

$$\beta = \frac{I_к}{I_б} = \frac{I_к}{I_э - I_к} \quad \text{формула (2-2)}$$

$$f_н = \frac{1}{2\pi \cdot C_{p2} (R_к + R_н)}. \quad \text{формула (2-3)}$$

$$C_э \approx \frac{S_0}{2\pi f_н}. \quad \text{формула (2-4)}$$

$$k_p = U_{мввых} / U_{мвх} \quad \text{формула (2-5)}$$

$$R_{вх} = U_{вх} / I_{вх} \quad \text{формула (2-6)}$$

$$k_u = U_{ввых} / U_{вх} \quad \text{формула (2-7)}$$

$$k_i = I_{ввых} / I_{вх} \quad \text{формула (2-8)}$$



## Выполнение работы

### 2.1 Исследование характеристик биполярного транзистора

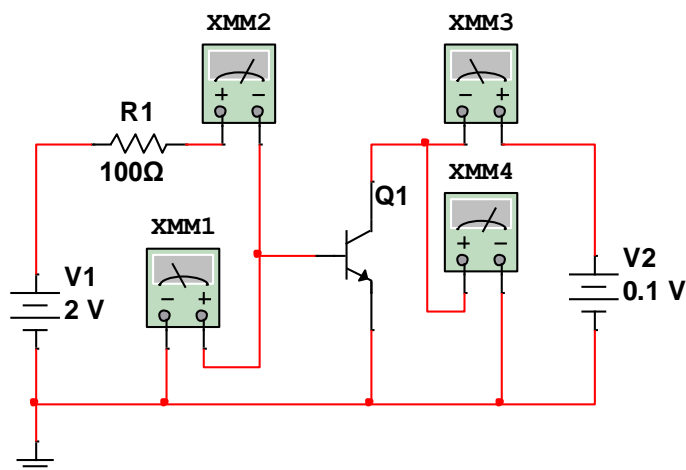


Рис. 2-3

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 2-3.
2. Проведите измерения тока коллектора  $I_c$  для каждого значения  $E_c$  (источник  $V_2$ ) и  $E_b$  (источник  $V_1$ ) и заполните таблицу 2-1.
3. Установите мультиметры XMM2, XMM3 в режиме амперметров, мультиметры XMM1, XMM4 – вольтметров (по постоянному току).
4. По данным таблицы постройте в отчете график зависимости  $I_c$  от  $E_c$ .
5. Постройте нагрузочную прямую по постоянному току на выходной характеристике транзистора.
6. Определите по графику рабочую точку и запишите её значение.
7. Приведите в отчете схему испытаний.

Таблица 2-1

E <sub>б</sub> , В	I <sub>б</sub> , мкА	E <sub>к</sub> , В				
		0,1	0,5	1	5	10
1,5						
2,5						
3,5						
4,5						
5,7						

## 2.2 Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе, включённого по схеме с ОЭ

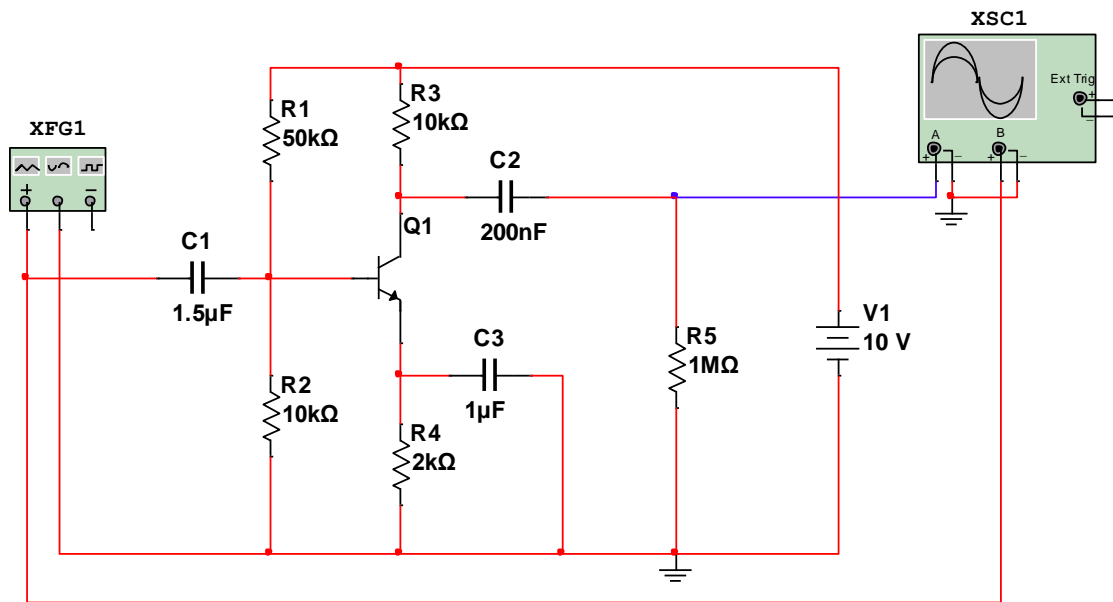
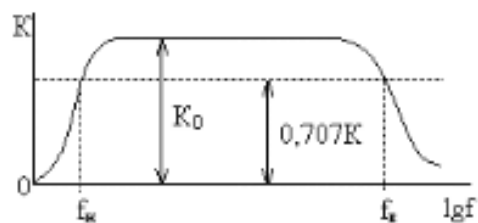


Рис. 2-4

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 2-4.
2. Двойным щелчком мыши откройте функциональный генератор и введите данные для схемы: частота 10 кГц; напряжение 10 мВ.
3. Подключите осциллограф к входу и выходу.
4. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите нужный масштаб по временной оси и по амплитудной оси.
5. Запустите процесс моделирования, убедитесь в противофазности входного и выходного напряжений, приведите осциллограмму в отчете.
6. По осциллограмме определите амплитуды входного и выходного напряжения и коэффициент усиления каскада по формуле 2-5.
7. Рассчитайте входное сопротивление  $R_{вх}$  по формуле 2-6, где  $U_{вх}$  – напряжение на входе усилительного каскада, показанное вольтметром,  $I_{вх}$  – входной ток каскада, показанный амперметром.
8. Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению по формуле 2-7. Для измерения этих величин следует включить мультиметры.
9. Рассчитайте коэффициент усиления тока по формуле 2-8.
10. Отключите осциллограф и подключите прибор для снятия АЧХ и ФЧХ. Перенесите графики полученной на экране АЧХ и ФЧХ в отчет. Масштаб указать. На графике обязательно указать нижнюю и верхнюю граничные частоты.
11. По полученной на экране монитора АЧХ определите нижнюю  $f_H$  и верхнюю  $f_B$  частоты полосы пропускания по уровню 0,707 от коэффициента усиления на средних частотах  $K_0$ , как показано на рис. 2-5.



**Рис. 2-5**

Укажите чему равен коэффициент усиления на средних частотах  $K_0$ .

12. Определите полосу пропускания каскада по формуле:

$$\Delta f = f_B - f_H$$

13. Определить среднюю частоту  $f_0$  по формуле:

$$f_0 = \sqrt{f_e \cdot f_n}$$

14. Приведите в отчете исследуемую схему.

### 2.3 Исследование каскада на биполярном транзисторе на переменном токе

1. Подключите осциллограф к входу и выходу. Подключите плоттер.

2. Отключите конденсатор С3 и повторите п. 10, 11, 12.

3. Восстановите исходную схему.

4. Измените сопротивление в цепи коллектора R3 в сторону уменьшения или в сторону увеличения (на Ваше усмотрение) и повторите п. 10, 11, 12.

5. Восстановите исходные параметры элементов схемы и затем уменьшить емкость разделительного конденсатора С1 в 100-500 раз и убедитесь с помощью осциллографа, что между входным и выходным напряжениями появился фазовый сдвиг, отличный от первоначального, равного  $-180^\circ$ . Обратите внимание, каков (на ваш взгляд) этот фазовый сдвиг – положительный или отрицательный.

6. Повторите п. 10, 11, 12.

7. Восстановите исходные параметры и уменьшите емкость разделительного конденсатора С2 в 100-500 раз и убедитесь с помощью осциллографа, что между входным и выходным напряжениями появился фазовый сдвиг, отличный от первоначального, равного  $-180^\circ$ . Обратите внимание, каков (на ваш взгляд) этот фазовый сдвиг – положительный или отрицательный.

8. Повторите п. 10, 11, 12.

9. Восстановите исходные параметры элементов схемы и затем подключите емкость  $C_n = 200$  пФ.

10. Повторите п. 10, 11, 12.

11. Все полученные данные сведите в таблицы.

12. По данным таблиц сделайте и запишите в отчете выводы.

**Таблица 2-2**УСЛОВИЯ:  $U_{ВХ} = \dots, C_{p1} = \dots, C_{p2} = \dots, \dots$ 

C3					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

**Таблица 2-3**

R3					
$U_{ВЫХ}$					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

**Таблица 2-4**

C1					
$U_{ВЫХ}$					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

**Таблица 2-5**

C2					
$U_{ВЫХ}$					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

**Таблица 2-6**

CН					
$U_{ВЫХ}$					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

## 2.4 Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе, включённого по схеме с ОБ

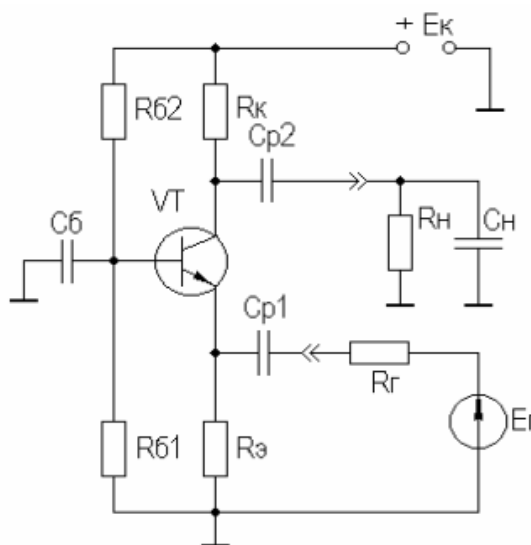


Рис. 2-4

1. Соберите самостоятельно схему с ОБ (рис. 2-4).
2. Двойным щелчком мыши откройте функциональный генератор и введите данные для схемы: частота 10кГц; напряжение 10мВ.
3. Подключите осциллограф к входу и выходу.
4. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите нужный масштаб по временной оси и по амплитудной оси.
5. Запустите процесс моделирования, зарисуйте осциллограмму в отчете. По полученной осциллограмме определить сдвиг фаз между входным и выходным напряжениями, амплитуды входного и выходного напряжений и определить коэффициент усиления каскада по формуле:

$$K = U_{\text{мвых}} / U_{\text{мвх}}$$

6. Рассчитайте входное сопротивление  $R_{\text{ВХ}}$  по формуле:

$$R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} / I_{\text{ВХ}}$$

где  $U_{\text{ВХ}}$  – напряжение на входе усилительного каскада, показанное вольтметром,  $I_{\text{ВХ}}$  – входной ток каскада, показанный амперметром.

8. Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению по формуле:

$$K_U = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$$

Для измерения этих величин следует включить мультиметры.

9. Рассчитайте коэффициент усиления тока по формуле:

$$K_I = I_{\text{ВЫХ}} / I_{\text{ВХ}}$$

10. Отключите осциллограф и подключите прибор для снятия АЧХ и ФЧХ.

Перенесите графики полученной на экране АЧХ и ФЧХ в отчет. Масштаб указать. На графике обязательно указать нижнюю и верхнюю граничные частоты.

11. Приведите в отчете исследуемую схему.

## 2.5 Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе, включённого по схеме с ОК

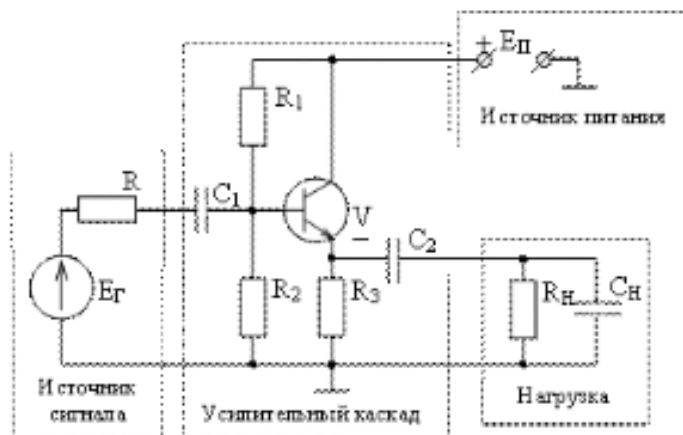


Рис. 2-5

1. Соберите самостоятельно схему с ОК (рис. 2-5).
2. Двойным щелчком мыши откройте свойства элементов и установите необходимые параметры.
3. Подключите осциллограф к входу и выходу. Установите нужный масштаб по временной оси и по амплитудной оси.
4. Выполните п. 5 – 10 подраздела 2.4.
5. Приведите в отчете исследуемую схему.

### Дополнительное задание

Приведите в отчете эквивалентную схему замещения биполярного транзистора.

### Контрольные вопросы

1. В чём заключаются достоинства схемы усилителя с ОЭ?
2. В чём заключаются достоинства схемы усилителя с ОБ?
3. В чём заключаются достоинства схемы усилителя с ОК?
4. От чего зависит ток коллектора биполярного транзистора?
5. Какую роль играют параллельно соединённые резистор и конденсатор в цепи эмиттера?
7. Какие изменения в режиме работы каскада произойдут, если уменьшить сопротивление  $R_3$  в каскаде с ОЭ?
7. Какие изменения в режиме работы каскада произойдут, если уменьшить сопротивление  $R_3$  в каскаде с ОК?
8. Какие изменения в режиме работы каскада произойдут, если уменьшить сопротивление  $R_3$  в каскаде с ОБ?
9. Как изменяется нижняя граничная частота каскада при изменении емкостей разделительных конденсаторов и емкости конденсатора, шунтирующего сопротивление в цепи эмиттера?
10. Какие изменения в режиме работы каскада произойдут, если уменьшить емкость конденсатора  $C_n$  в каскаде с ОЭ?

### **Лабораторная работа № 3. Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе**

Полевой транзистор – это полупроводниковый прибор, в котором выходной ток управляется входным напряжением. Полевой транзистор еще называют униполярным, поскольку его работа основана на использовании только основных носителей заряда – либо электронов, либо дырок.

Каскады на полевых транзисторах получили в настоящее время широкое распространение, т.к. они обладают существенно большим входным сопротивлением по сравнению с усилительными каскадами на биполярных транзисторах.

Полевые транзисторы могут работать в схеме включения с общим истоком, с общим стоком или с общим затвором. Наиболее распространенной является схема с общим истоком.

Через резистор утечки R2 отводится очень малый ток утечки затвора. Резистор R3 обеспечивает необходимое обратное смещение, поднимая потенциал истока выше потенциала затвора. Кроме того, этот резистор обеспечивает также стабильность режима усилителя по постоянному току. R3 – нагрузочный резистор, который может иметь очень большое сопротивление (более 1,5 МОм). Развязывающий конденсатор C1 в цепи истока устраняет отрицательную обратную связь по переменному току через резистор R1. При подаче сигнала на вход усилителя изменяется ток стока, вызывая в свою очередь, изменение выходного напряжения на стоке транзистора.

Во время положительного полупериода входного сигнала напряжение на затворе увеличивается в положительном направлении, обратное напряжение смещения перехода затвор – исток уменьшается и, следовательно, увеличивается ток истока полевого транзистора. Увеличение истока приводит к уменьшению выходного (стокового) напряжения, и на выходе воспроизводится отрицательный полупериод усиленного сигнала. И наоборот, отрицательному полупериоду входного сигнала соответствует положительный полупериод выходного сигнала.

#### **Цель работы**

Цель моделирования состоит в изучении конструкции, принципов действия и классификации широко используемых в электронике и полевых транзисторов, а также освоение методов моделирования основных типов схем, использующих полупроводниковые транзисторы, в среде Multisim.

#### **Элементная база**

- Источник питания постоянного тока (POWER\_SOURCE/ DC\_POWER)
- Резисторы (BASIC\_RESISTORS)
- Катушки индуктивности (BASIC\_INDUCTOR)

– Конденсатор (BASIC\_CAPACITOR)

### Оборудование

- Осциллограф (Oscilloscope)
- Функциональный генератор (Function Generator)

### Рабочие формулы

Текущее значение тока стока

$$I_c = I_{снач} (1 - U_{зи}/U_{зиотс})$$

Где  $U_{зи}$  – текущее значение напряжения затвор-исток формула (3-1)

$I_{снач}$  – начальный ток стока при напряжении отсечки

$U_{зиотс}$

Текущая крутизна

$$S = dI_c/dU_{зи} = S_{нач}(1 - U_{зи}/U_{зиотс})$$
 формула (3-2)

Крутизна характеристики при напряжении отсечки  $U_{зиотс}$

$$|S_{нач}| = 2 \cdot I_{снач}/U_{зиотс}$$
 формула (3-3)

Коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = dU_{си}/dU_{зи} \text{ при } I_c = \text{const}$$
 формула (3-4)

### Выполнение работы

#### 3.1 Исследование характеристик полевого транзистора

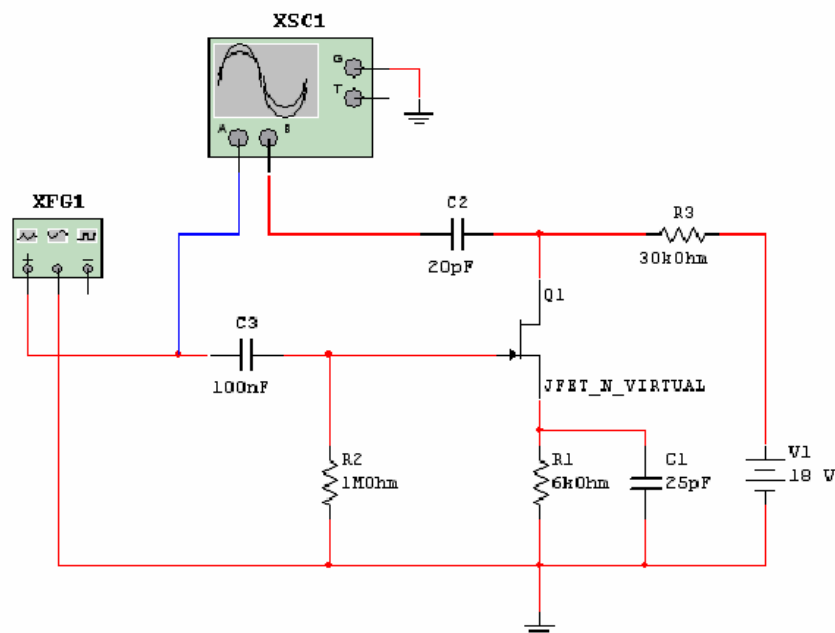
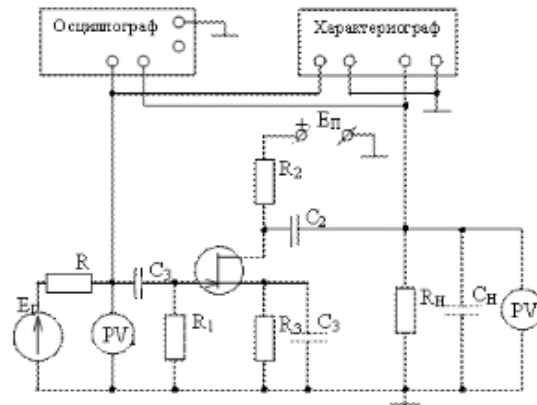


Рис. 3-1

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 3-1.
2. Двойным щелчком мыши откройте функциональный генератор и введите данные для схемы: частота 1кГц; напряжение 20мВ.
3. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите нужный масштаб по временной оси и по амплитудной оси.



### 3.2 Исследование усилительного каскада на полевом транзисторе, включённого по схеме с ОИ



**Рис. 3-2**

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 3-2.
2. Установить следующие значения параметров элементов схемы:  
 $R_1=1\text{ МОм}$ ,  $R_2=5\text{ кОм}$ ,  $R_3=1\text{ кОм}$ ,  $R_H=20\text{ кОм}$ ,  $C_1=2\text{ мкФ}$ ,  $C_2=2\text{ мкФ}$ ,  
 $C_3=10\text{ мкФ}$ ,  $C_H=100\text{ пФ}$ ,  $E_{пит}=15\text{ В}$ ,  $E_{г}=5\text{ мВ}$ ,  $R_{г}=100\text{ Ом}$ ,  $f_{г}=20000\text{ Гц}$ .
3. Запустите процесс моделирования.
4. Снимите показания вольтметров.
5. Рассчитайте коэффициент усиления напряжения по формуле:

$$K_U = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

где  $U_{\text{вх}}$  – входное напряжение каскада, показанное вольтметром  $PV_1$  и  $U_{\text{вых}}$  – выходное напряжение каскада, показанное вольтметром  $PV_2$ .

6. Настройте осциллограф, регулируя вертикальную и горизонтальную развертки до тех пор, пока изображение входного и выходного сигналов не станет удобным для исследования.

7. По полученной осциллограмме определить сдвиг фаз между входным и выходным напряжениями, амплитуды входного и выходного напряжений и определить коэффициент усиления каскада по формуле

$$K = U_{\text{мвых}} / U_{\text{мвх}}$$

8. Отключите осциллограф и подключите прибор для снятия АЧХ и ФЧХ.

Перенесите графики полученной на экране АЧХ и ФЧХ в отчет. Масштаб указать. На графике обязательно указать нижнюю и верхнюю граничные частоты.

По полученной на экране монитора АЧХ определите нижнюю  $f_H$  и верхнюю  $f_B$  частоты полосы пропускания по уровню 0,707 от коэффициента усиления на средних частотах  $K_0$ .

Укажите чему равен коэффициент усиления на средних частотах  $K_0$ .

9. Определите полосу пропускания каскада по формуле:

$$\Delta f = f_B - f_H$$

10. Определить среднюю частоту  $f_0$  по формуле:

$$f_0 = \sqrt{f_B \cdot f_H}$$

11. Приведите в отчете исследуемую схему.

12. Поочередно изменяйте параметры элементов схемы (с восстановлением предыдущих) и повторите п. 8 – 10.

13. Все полученные данные сведите в таблицы.

14. По данным таблиц сделайте и запишите в отчете выводы.

### Таблица 3-2

Условия:  $U_{ВХ} = \dots$ ,  $Cp1 = \dots$ ,  $Cp2 = \dots$ , ...

C3					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

### Таблица 3-3

R3					
$U_{ВЫХ}$					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

### Таблица 3-4

R2					
$U_{ВЫХ}$					
$U_{ВЫХ}$					
$K_0$					
$f_B, f_H$					
$\varphi$					

### Дополнительное задание

Приведите эквивалентную схему замещения полевого транзистора.

### Контрольные вопросы

1. Где располагается полевой транзистор со встроенным каналом в среде Multisim?
2. Какие типы транзисторов Вы знаете? В чём заключаются их принципиальные отличия?
3. Приведите схемы включения полевого транзистора.
4. Какие изменения в режиме работы каскада произойдут, если уменьшить сопротивление R3 в каскаде с ОИ?
5. Назовите основные параметры полевого транзистора.
6. Влияние температуры на характеристики и электрический режим полевых транзисторов.
7. Возможно ли изменить время моделирования процесса в Multisim?
8. Чем отличаются в Multisim реальные (промышленные) компоненты от виртуальных?

## Лабораторная работа № 4. Исследование параметров операционных усилителей

Операционный усилитель (ОУ) – унифицированный многокаскадный усилитель постоянного тока, выполненный на интегральной схеме и удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам:

- коэффициент усиления по напряжению стремится к бесконечности ( $K_U \rightarrow \infty$ );
- входное сопротивление стремится к бесконечности ( $R_{ВХ} \rightarrow \infty$ );
- выходное сопротивление стремится к нулю ( $R_{ВЫХ} \rightarrow 0$ );
- если входное напряжение стремится к нулю, то выходное напряжение также равно нулю ( $U_{ВХ} = 0 \rightarrow U_{ВЫХ} = 0$ );
- бесконечная полоса усиливаемых частот ( $f_B \rightarrow \infty$ ).

Являясь, по существу, идеальным усилительным элементом, ОУ составляет основу всей аналоговой электроники, что стало возможным в результате достижений современной микроэлектроники, позволившей реализовать достаточно сложную структуру ОУ в интегральном исполнении на одном кристалле и наладить массовый выпуск подобных устройств. Все это позволяет рассматривать ОУ в качестве простейшего элемента электронных схем подобно диоду, транзистору и т.п. Следует отметить, что на практике ни одно из перечисленных выше требований ОУ не может быть удовлетворено полностью.

Операционный усилитель – это аналоговая интегральная схема, снабженная, как минимум, пятью выводами. Ее условное графическое изображение приведено на рисунке 6-1.

Два вывода ОУ используются в качестве входных, один вывод является выходным, два оставшихся вывода используются для подключения источника питания ОУ. С учетом фазовых соотношений входного и сигналов один из входных выводов (вход 1) называется неинвертирующим, а другой (вход 2) – инвертирующим. Выходное напряжение  $U_{ВЫХ}$  связано с входными напряжениями  $U_{ВХ1}$  и  $U_{ВХ2}$  соотношением

$$U_{ВЫХ} = K_{U0} (U_{ВХ1} - U_{ВХ2}),$$

где  $K_{U0}$  – собственный коэффициент усиления ОУ по напряжению.

Питание операционного усилителя осуществляется от двух разнополюсных источников. В реальных ОУ напряжение питания лежит в диапазоне  $\pm 3 \text{ В} \dots \pm 18 \text{ В}$ .

### Цель работы

Цель данного моделирования состоит в освоении студентами методов моделирования основных типов схем, использующих операционные усилители, в среде Multisim, а также расчетов этих схем.

### Элементная база

- Источник питания переменного тока (POWER\_SOURCE/ AC\_POWER)
- Операционные усилители (ANALOG\_VIRTUAL/OPAMP)

- Резисторы (BASIC\_RESISTORS)
- Катушка индуктивности (BASIC\_INDUCTOR)
- Конденсатор (BASIC\_CAPACITOR)

### Оборудование

- Осциллограф (Oscilloscope)
- Мультиметр (Multimeter)
- Анализатор частотных характеристик Боде (Bode Plotter)
- Функциональный генератор (Function Generator)

### Рабочие формулы

Средний входной ток

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad \text{формула (4-1)}$$

Где  $I_1, I_2$  – токи на входах ОУ при отсутствии внешнего сигнала.

Модуль разности входных токов

$$\Delta I_{\text{вх}} = I_1 - I_2 \quad \text{формула (4-2)}$$

Напряжение смещения

$$U_{\text{см}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{K_y} \quad \text{формула (4-3)}$$

Входное сопротивление по синфазному импульсу

$$R_{\text{вх.сф.}} = \frac{\Delta U_{\text{вх.сф.}}}{\Delta I_{\text{вх.ср.}}} \quad \text{формула (4-4)}$$

Дифференциальное сопротивление

$$R_{\text{вх. диф.}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{\Delta I_{\text{ВХ}}} \quad \text{формула (4-5)}$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя

$$K_y = - \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = - \frac{R_{\text{ос}}}{R_1} \quad \text{формула (4-6)}$$

Где  $R_{\text{ос}}$  – сопротивление обратной связи

Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя

$$K_y = 1 + \frac{R_{\text{ос}}}{R_{\text{ВХ}1}} \quad \text{формула (4-7)}$$

## Выполнение работы

### 4.1 Измерение напряжения смещения

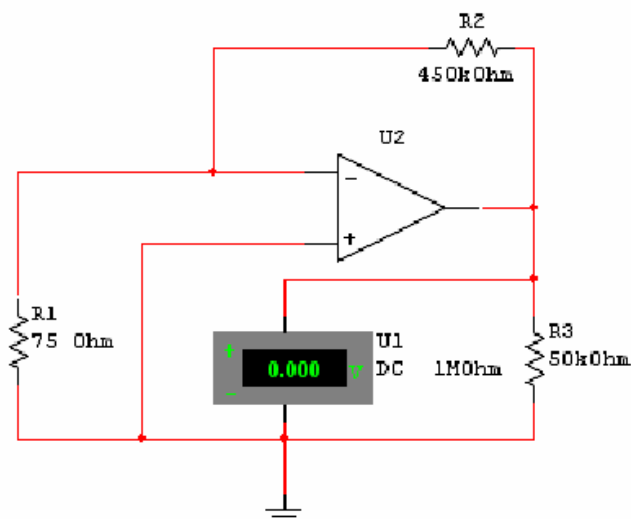


Рис. 4-1

1. Соберите схему как показано на рисунке 4-1.
2. Двойным щелчком мыши откройте функциональный генератор и введите данные для схемы: частота 10кГц; напряжение 15мВ.
3. Запустите процесс моделирования и запишите показания вольтметра.
4. Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению данной схемы.
5. С помощью формулы 4-3 рассчитайте напряжение смещения для данного операционного усилителя.
6. Занесите измеренные и рассчитанные величины в отчет.

### 4.2 Измерение входных токов

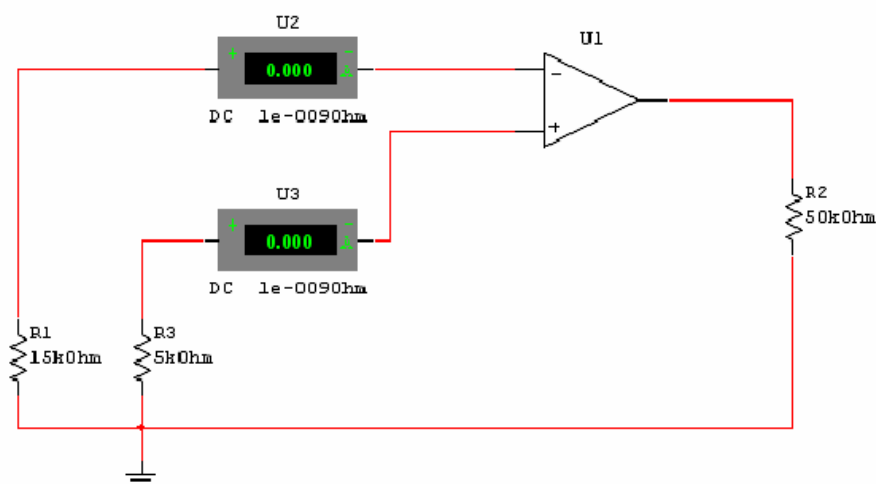


Рис. 4-2

1. Соберите схему как показано на рисунке 4-2.
2. Запустите процесс моделирования и запишите значения токов на каждом входе.
3. Рассчитайте по формулам 4-1 и 4-2 значения разности входных токов и среднего входного тока.
4. Результаты запишите в отчет.

### 4.3 Повторитель напряжения

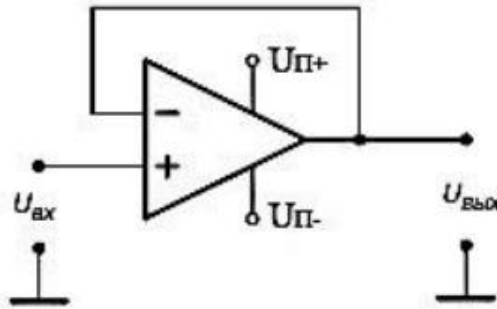


Рис. 4-3

1. Соберите схему как показано на рисунке 4-3.
2. Запустите процесс моделирования и запишите амплитудные значения напряжений по показаниям осциллографа.
3. Убедитесь, что выходной сигнал повторяет входной.
4. Наблюдения запишите в отчет.

### 4.4 Усиление синусоидального сигнала на неинвертирующем усилителе

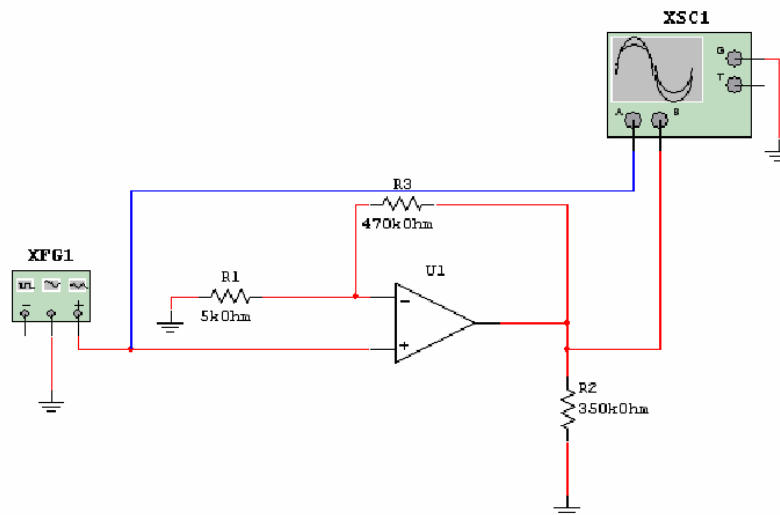


Рис. 4-4

1. Соберите схему как показано на рисунке 4-4.
2. Параметры схемы согласно вашему варианту.
3. Рассчитайте значение коэффициента усиления по напряжению в схеме по формуле 4-7.
4. Запустите процесс моделирования и запишите амплитудные значения напряжений по показаниям осциллографа.
5. Убедитесь, что выходной сигнал находится в фазе входному.
6. Рассчитайте экспериментальное значение  $K_u$  и сравните с теоретическим значением.
7. Результаты запишите в отчет.

## 4.5 Усиление синусоидального сигнала на инвертирующем усилителе

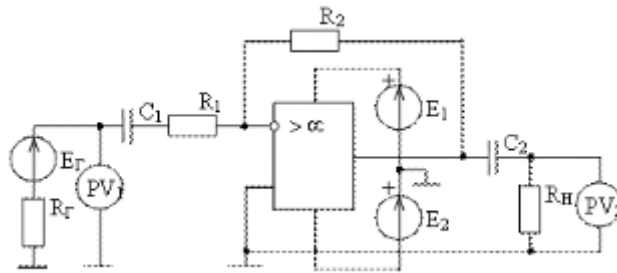


Рис. 4-5

1. Соберите схему как показано на рисунке 4-5.
2. Установите для всех вариантов емкости  $C1=C2=2$  мкФ. Остальные параметры схемы согласно выбранному варианту по табл. 4-1.
3. Рассчитайте коэффициент усиления по напряжению в данной схеме по формуле 4-б.
4. Запустите процесс моделирования и запишите амплитудные значения напряжений по показаниям осциллографа.
5. Настроить осциллограф и убедиться, что выходной сигнал находится в противофазе входному. Занести осциллограмму в отчет. Масштаб указать.
5. По виду изображения оцените разность фаз между входным и выходным сигналами.
6. Рассчитайте коэффициент усиления по полученным экспериментально значениям входного и выходного напряжений.
7. Сравните полученное значение коэффициента с полученным теоретическим значением.
8. Результаты расчетов и измерений занесите в отчет.

Табл. 4-1

№	$E_{г}$ , мВ	$R_{г}$ , Ом	$f_{г}$ , кГц	$R1$ , кОм	$R_{н}$ , кОм	K
1	1	100	10	10	5	110
2	2	100	11	10	5	120
3	3	100	12	10	5	130
4	4	100	13	10	5	140
5	5	100	14	10	5	150
6	6	200	15	10	10	160
7	7	200	16	10	10	170
8	8	200	17	10	10	180
9	9	200	18	10	10	190
10	10	200	19	10	10	200
11	11	200	20	20	15	110
12	12	200	21	20	15	120
13	13	200	22	20	15	130
14	14	200	23	20	15	140

15	15	200	24	20	15	150
16	16	100	25	20	20	160
17	17	100	26	20	20	170
18	18	100	27	20	20	180
19	19	100	28	20	20	190
20	20	100	29	20	20	200

### **Дополнительное задание**

Значения входного сопротивления и сопротивления обратной связи для инвертирующего усилителя равны соответственно 5 кОм и 12 кОм. Рассчитать значения выходного напряжения и коэффициента усиления по напряжению, если на вход подано напряжение 75 мВ.

Замена элементов моделирования осуществляется двойным нажатием на интересующем элементе. Запустите процесс моделирования и сравните получившиеся данные с ожидаемыми.

### **Контрольные вопросы**

1. Что представляет собой операционный усилитель?
2. Какие внешние условия влияют на работу ОУ?
3. Приведите порядок величины коэффициента усиления ОУ?
4. Где используются ОУ?
5. Приведите основные характеристики ОУ?
6. Какие типы усилителей, использующих ОУ вам известны?
7. Что такое амплитудно-частотная характеристика ОУ?
8. Какая функция характеризует зависимость напряжения выходного сигнала от напряжения входного сигнала?
9. Как в среде Multisim просмотреть графики зависимостей напряжений от времени?
10. Приведите основные параметры идеального ОУ?



## Лабораторная работа № 5. Фильтры

Полосовые фильтры задерживают сигналы всех частот за исключением тех, которые находятся в полосе пропускания фильтра. Частота входного сигнала, при которой выходной сигнал максимален, называется основной частотой или резонирующей частотой.

В пассивной полосовой схеме маленький коэффициент LC обеспечивает широкую полосу пропускания, а большой коэффициент LC вызывает сужение полосы.

Ширина полосы пропускания LC цепей определяется частотами, входящими в полосу 3Дб. В полосовом фильтре, изображенном на рис. 5-1, спад амплитудно-частотной характеристики наблюдается с обеих сторон основной частоты.

В данной лабораторной работе для фильтра второго порядка спад амплитудно-частотной характеристики должен достигать 40 Дб/дек вблизи интересующей нас частоты.

Изменение значений R, L, или C отразится на расположении полюсов. Изменение значения сопротивления R отразится на изменении полосы пропускания, но не основной частоты. Изменение емкости конденсатора C2 повлияет на изменение резонансной частоты, но не полосы пропускания. Изменение значения индукции L вызовет изменение и основной частоты и полосы пропускания.

### Цель работы

Цель данного моделирования состоит в демонстрации характеристик и принципа действия пассивного и активного фильтра.

### Элементная база

- Источник питания переменного тока (POWER\_SOURCE/ AC\_POWER)
- Резисторы (BASIC\_RESISTORS)
- Катушка индуктивности (BASIC\_INDUCTOR)
- Конденсатор (BASIC\_CAPACITOR)

### Оборудование

- Осциллограф (Oscilloscope)
- Анализатор частотных характеристик (Bode Plotter)

### Рабочие формулы

Ширина полосы пропускания

$$BW = \frac{R}{2\pi L} \quad \text{формула (5-1)}$$

Добротность

$$Q = \frac{f_c}{BW} = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{формула (5-2)}$$

Основная частота

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

формула (5-3)

Децибелы

$$dB = 20\log V$$

формула (5-4)

## Выполнение работы

### 5.1 Пассивный полосовой фильтр

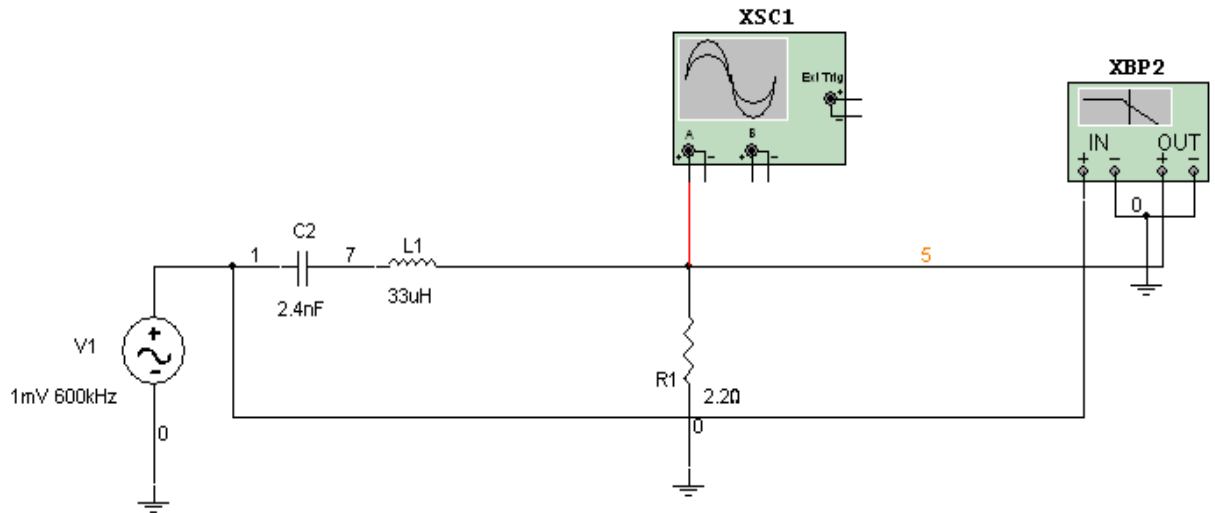


Рис. 5-1

1. Соберите схему как показано на рисунке 5-1.
2. Вычислите резонансную частоту и запишите значение в таблицу 5-1.
3. Двойным щелчком мыши войдите в меню AC\_POWER (источника переменного напряжения) и введите полученное значение Frequency (частоты).
4. Двойным щелчком мыши войдите в меню Oscilloscope (осциллографа), установите масштаб по оси времени 5 мкс/дел и Channel A (канал A) в 200 мкВ/дел. Поставьте флажки Auto triggering (автоматический запуск) и DC coupling (связь по постоянному току).
5. Запустите процесс моделирования и измерьте частоту колебаний выходного сигнала. Запишите соответствующие значения амплитуды в таблицу 5-2.
6. Изменяя частоту (при значении амплитуды=1) AC\_POWER (источника переменного напряжения), в соответствии с данными таблицы 5-2, измерьте и запишите напряжение выходного сигнала при всех частотах. С помощью формулы 5-4, вычислите соответствующие значения в дБ. Необходимо запускать процесс моделирования для каждого измерения. Изобразите амплитудно-частотный спектр для полученных данных. Прокомментируйте полученные результаты.

7. Двойным щелчком мыши войдите в меню Bode Plotter (графопостроитель диаграммы Боде) и установите значения Magnitude LOG F = 5 дБ, 1.3 МГц, I = -60 дБ, 200 КГц.

8. Перезапустите процесс моделирования и рассчитайте ширину полосы пропускания фильтра, перемещая красный маркер к уровню 3 дБ и к уровню в нижней правой части Bode Plotter. Сравните полученные амплитудно-частотные спектры с результатами, полученными с помощью Bode Plotter.

9. Сравните полученные значения ширины полосы пропускания с теоретическими и заполните таблицу 5-1.

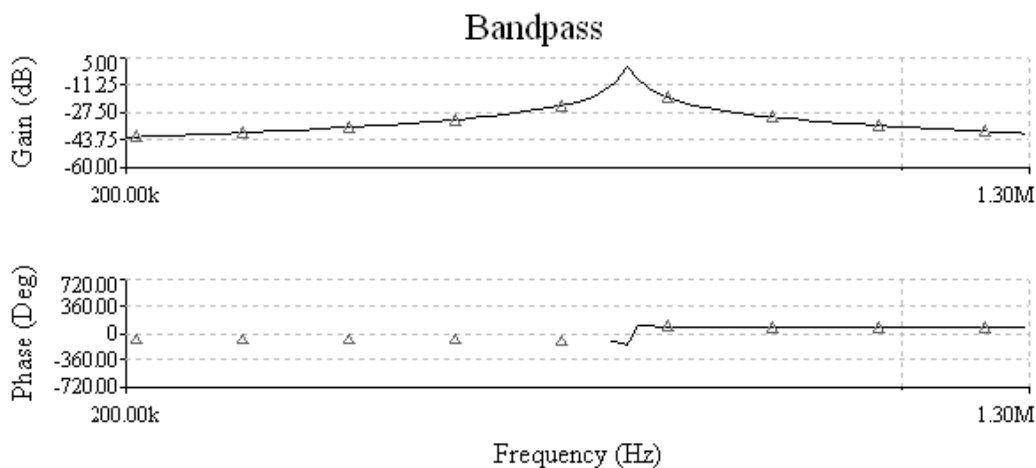


Рис. 5-2

Данные для лабораторной работы

Таблица 5-1

	Measured Value (измеренные значения)	Calculated Value (вычисленные значения)
BW		
$f_c$		
Q		

Таблица 5-2

Frequency (частота)	Amplitude (V) (амплитуда)	Decibel Gain (dB) (коэффициент)
$f_c =$		
600 Гц		
6 кГц		
60 кГц		
600 кГц		
6 МГц		
60 МГц		
600 МГц		

#### Дополнительное задание

При помощи приведенных формул, изменяя значения элементов схемы на рис. 5-1, получите значение  $f_c = 455$  кГц. Замена элементов моделирования осуществляется двойным нажатием на интересующем

элементе. Запустите процесс моделирования и сравните получившиеся данные с ожидаемыми.

## 5.2. Пассивная режекторная схема с нагрузкой

Пассивная режекторная схема состоит из параллельной LC-цепочки и нагрузки, которая является необходимой на практике для того, чтобы обеспечить эффективную реализацию. Подобные подстроечные контуры часто используются в приемниках, поскольку они позволяют увеличивать сигналы точно определенных резонансных частот. Поэтому термин «подстроечные схемы» также часто называют «резонансными контурами». LC-режекторная схема отличается от ряда LC-схем параллельным соединением элементов. Она характеризуется резким возрастанием импеданса сети на резонансной или центральной частоте. В результате полный ток равен нулю на резонансной частоте - как только выравниваются токи в индуктивной и емкостной ветвях цепи.

На резонансной частоте фазовый сдвиг схемы равен нулю. На частотах выше резонансной полное сопротивление режекторной схемы убывает, поэтому ток через нее возрастает. Полный ток опережает приложенное напряжение на частотах, превосходящих резонансную и отстает от приложенного напряжения на частотах, меньших резонансной.

Частота среза определяется на уровне 0,707 от максимального полного выходного сопротивления. Также как и для других полосовых фильтров, ширина полосы заграждения режекторной LC-схемы определяется для частот, соответствующих спаду характеристики на 3 дБ. Для фильтров первого порядка в данной лабораторной работе спад должен быть около 40 дБ на декаду вблизи исследуемой частоты.

### Рабочие формулы

Частота среза

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{формула (4-1)}$$

Полное сопротивление

$$X_L = 2\pi f_c L \quad \text{формула (4-2)}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f_c} \quad \text{формула (4-3)}$$

### Исходные данные вариантов

Таблица 5-3

№ варианта	Uвх, В	C, пФ	R, Ом	L, мкГн
1	1	220	10	5
2	3	240	20	7
3	5	330	7	10
4	2	220	10	3
5	10	200	5	10
6	7	220	13	5

## Выполнение работы

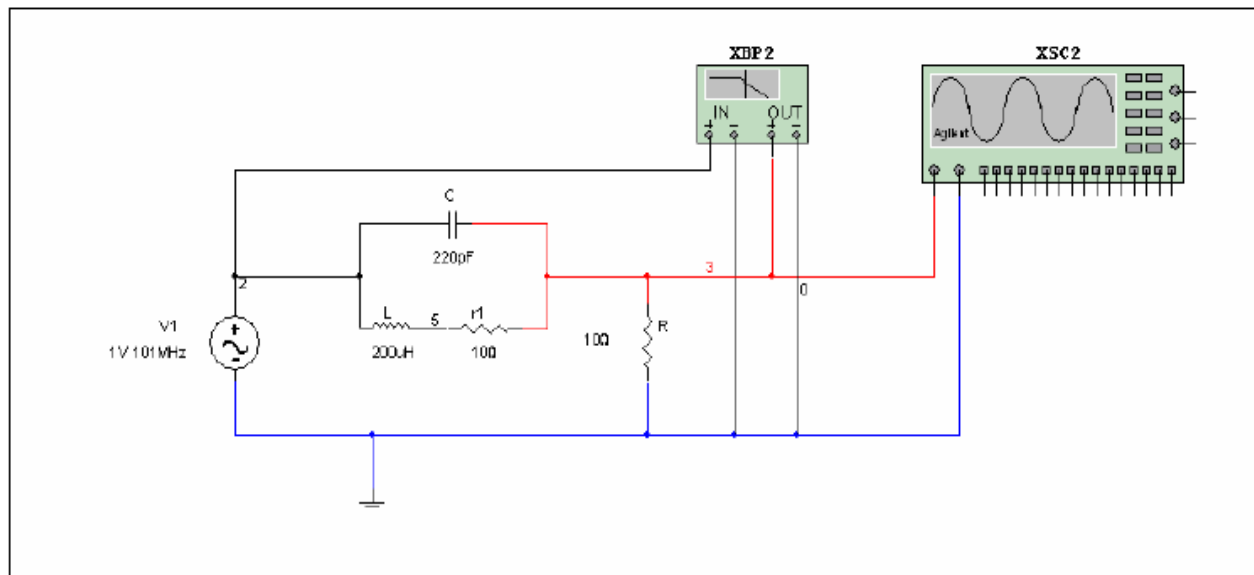


Рис. 5-3

1. Соберите схему, изображенную на рисунке 5-3.
2. Рассчитайте резонансную частоту режекторной схемы и внесите полученное значение в таблицу 5-4.
3. Двойным щелчком мыши откройте источник напряжения переменного тока и введите рассчитанное значение резонансной частоты.
4. Двойным щелчком мыши откройте экран осциллографа. Установите масштаб по временной оси 10 нс/дел и по амплитудной оси Channel 1 - 500 мВ/дел как обозначено вверху окна.
5. Запустите процесс моделирования и измерьте частоту колебаний на выходе. Значение соответствующей данной частоте амплитуды занесите в таблицу 5-4.

Таблица 5-4

Частота	Амплитуда (мВ)	Значение в децибелах (дБ)
7,6 кГц		
76 кГц		
$f_c =$		
760 кГц		
7,6 МГц		
76 МГц		

6. Согласно таблице 5-4 изменяйте частоту в источнике переменного напряжения последовательно на каждую из частот приведенных в списке. Измерьте и запишите амплитуду соответствующую каждой из заданных частот. Рассчитайте значения в дБ. Вам необходимо всякий раз запускать процесс заново для проведения измерений.
7. Нарисуйте график зависимости амплитуды от частоты, основываясь на полученных Вами данных. Прокомментируйте результаты.

8. Двойным щелчком мыши откройте построитель амплитудно-частотных характеристик и выберите Magnitude, LOG, F = 0 дБ, 1 ГГц, I = -200 дБ, 1 мГц.
9. Перезапустите процесс моделирования и оцените полосу пропускания фильтра путем перетаскивания красного маркера к точкам при спаде на 3 дБ, обратите внимание на значения частоты и дБ в нижней правой секции построителя АЧХ. Сравните нарисованный Вами график с полученными при помощи построителя АЧХ результатами.
10. Оформите отчет.

### Предполагаемый результат

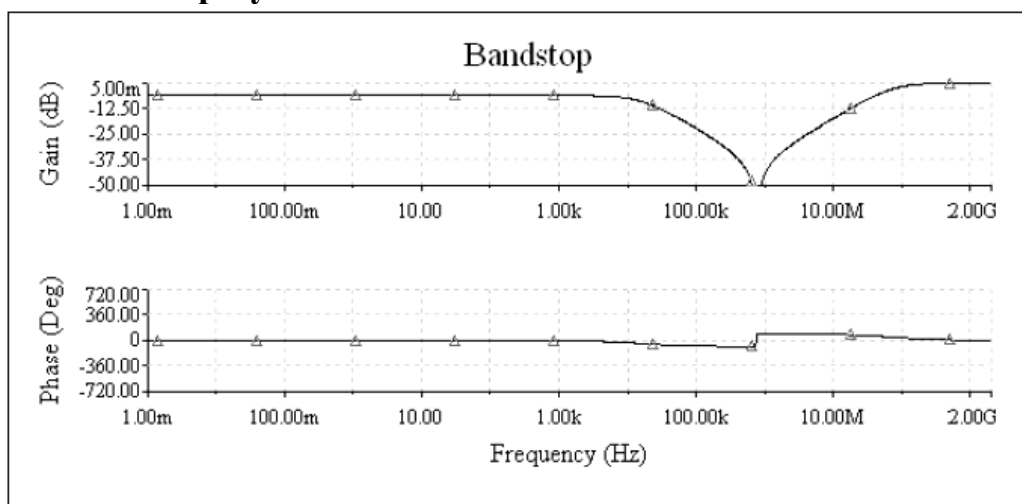


Рис. 5-4

### Дополнительное задание

Для схемы рис. 5-3 рассчитайте емкость конденсатора  $C$  так, чтобы схема резонировала на частоте  $f_c=1010$  кГц. Заполните таблицу по аналогии с таблицей 5-4 для частот 10.1 кГц, 101 кГц, 1010 кГц, 10.1 МГц и 101 МГц. Измените текущие параметры моделирования, дважды щелкнув мышью на нужном виртуальном компоненте. Запустите моделирование и прокомментируйте результаты.

### 5.3. Активные фильтры на ОУ

Для обеспечения высокого качества работы активных фильтров в их схемах следует использовать компоненты, параметры которых имеют малый разброс. Сопротивления и конденсаторы должны иметь малые температурные коэффициенты и малый временной дрейф параметров.

### Выполнение работы

1. Соберите схемы, изображенные на рисунке 5-5.
2. Параметры элементов согласно варианту по таблице 5-5.
3. Двойным щелчком мыши откройте построитель амплитудно-частотных характеристик и выберите Magnitude, LOG, F = 0 дБ, 1 ГГц, I = -200 дБ, 1 мГц.

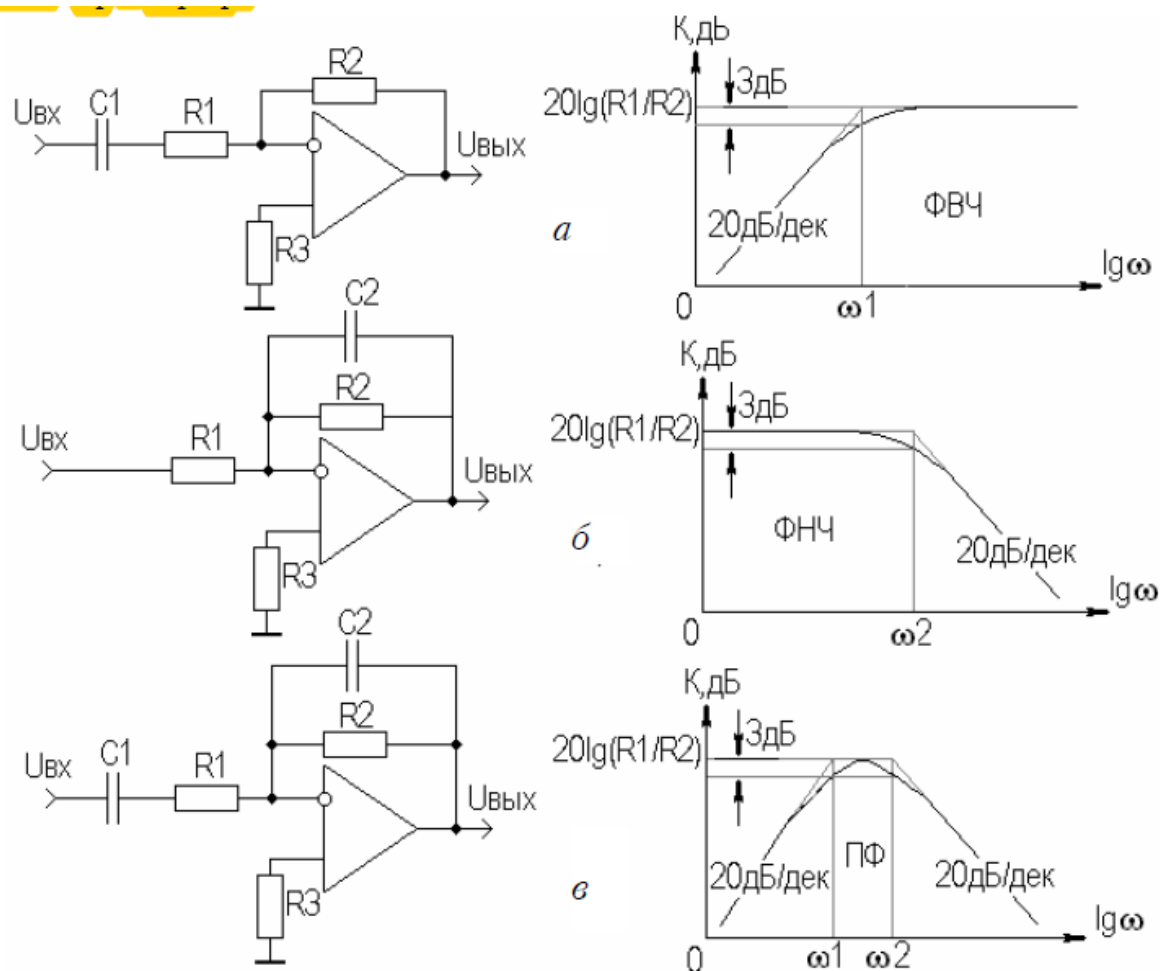


Рис. 5-5

Табл. 5-5

№	$E_{г}$ , мВ	$R_{г}$ , Ом	$f_{г}$ , кГц	$R_1$ , кОм	$R_2$ , кОм	$C_1$ , мкФ	$C_2$ , мкф
1	10	100	10	10	5		
2	2	100	11	10	5		
3	3	100	12	10	5		
4	4	100	13	10	5		
5	5	100	14	10	5		
6	6	200	15	10	20		
7	7	200	16	10	20		
8	8	200	17	10	20		
9	9	200	18	10	20		
10	10	200	19	10	20		

### Контрольные вопросы

1. Для чего служат фильтры?
2. Как приостановить выполнение процесса в Multisim?
3. Как в среде Multisim получить АЧХ и ФЧХ?
4. Как можно улучшить характеристики фильтра?
5. Как классифицируются фильтры в зависимости от диапазона частот?
6. Какие частоты пропускает полосовой фильтр?

7. Как в среде Multisim просмотреть графики входных и выходных сигналов?
8. Какие виртуальные приборы используются для анализа схем по току в Multisim?
9. Что представляет собой режекторный фильтр?
10. Как задаются свойства элементов в Multisim?
11. Может ли режекторный фильтр быть реализован на базе индуктивно-емкостных схем?
12. Как лучше выполнить режекторный фильтр, если вы имеете отличный узкополосный полосовой фильтр?
13. Как изменить цветовое решение схемы в Multisim?
14. Физический смысл резонансной частоты.
15. Дайте определение частоте среза.
16. Как увеличивается порядок фильтра?
17. Как транспортировать данные из Multisim в Exel?



**Приложение**  
(обязательное)

Порядок оформления и содержание отчета

1. Титульный лист (пример оформления см. ниже).
2. Название и цель работы.
3. Задание на выполнение.
4. Чертежи всех использованных и отработанных схем (каждая схема должна иметь название).
4. Расчетные формулы и расчеты.
5. Полученные показания приборов (результаты измерений).
6. Векторные диаграммы токов и напряжений.
7. Осциллограммы.
8. Анализ результатов (выводы по лабораторной работе).

Отчет оформляется в соответствии с общепринятыми требованиями ОС ТУСУР (Образовательный стандарт вуза ОС ТУСУР 01-2013. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления) и предоставляется в письменном (рукописном) или распечатанном виде.

Образец титульного листа по лабораторной работе

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ**  
**УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**  
**(ТУСУР)**

Кафедра радиоэлектроники и систем связи (РСС)

Отчет  
по лабораторной работе № 1  
**Знакомство с программным комплексом Multisim.**  
**Исследование простейших цепей**

по дисциплине «Схемотехника телекоммуникационных устройств»

Выполнил  
студент гр.

\_\_\_\_\_ Иванов И.И.

Проверил  
доцент каф. РСС

\_\_\_\_\_ Гоголина Л.А.

Томск 2018

## **Список использованных источников**

1. Шестеркин А.Н. Система моделирования и исследования радиоэлектронных устройств Multisim 10. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 360 с.
2. Л.И. Шарыгина. Схемотехника аналоговых электронных устройств. Лабораторный практикум. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 63 с.
3. Б.Л. Резников, В.Н. Попов. Электроника. Лабораторные работы. Автоматизированная среда Multisim. Москва – 2008. – 72 с.
4. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Т.1, Т.2 – М. Мир, 1993. – 412с.